

Comportamiento de los elementos conservativos en las aguas de infiltración de la cueva del Canelobre (Busot, Alicante)

Behaviour of conservative elements in infiltration waters of Canelobre cave (Busot, Alicante)

J. Cuevas-González^{1,2}, A- Fernández-Cortés³, M.C. Muñoz Cervera^{1,2}, J.M. Andreu¹, M.A. García del Cura^{2,4}; D. Benavente^{1,2} y J.C. Cañaveras^{1,2}

1. Departamento Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. Universidad de Alicante. Campus San Vicente del Raspeig, 03080 Alicante. jaime.cuevas@ua.es; andreu.rodas@ua.es; mc.munoz@ua.es; david.benavente@ua.es; jc.canaveras@ua.es
2. Laboratorio de Petrología Aplicada. Unidad Asociada CSIC-Universidad de Alicante.
3. Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC). José Gutiérrez Abascal, 2. 28006 Madrid. acortes@mncn.csic.es
4. Instituto de Geociencias (IGEO-CSIC). José Antonio Novais, 2. 28040 Madrid. angegcurea@ua.es

Resumen: Se han estudiado las aguas de goteo en la Cueva de Canelobre durante dos años con un régimen pluviométrico muy diferenciado. El estudio de la concentración del cloruro, como elemento conservativo, en las aguas de goteo nos ha permitido, no solo establecer la magnitud de la influencia marina, sino también valorar el grado de confinamiento de las aguas de infiltración respecto a las precipitaciones del exterior. Asimismo, la concentración del ión sulfato presenta una relación lineal con la del cloruro, lo que indica su carácter conservativo en el proceso de percolación (no sufre procesos modificadores). Se ha podido constatar que la evolución en la concentración de elementos conservativos (CI⁻) se puede relacionar con las trayectorias de infiltración, independientemente del régimen climático anual. Estas trayectorias están configuradas por la estructura del epikarst en función de la tipología y posición geométrica de sus discontinuidades estructurales (fracturas y estratificación).

Palabras clave: Karst, aguas de goteo, elemento conservativo, Cueva del Canelobre.

Abstract: The analysis of dripping waters at Canelobre Cave for two years with a very different rainfall pattern was carried out. The study of concentration of conservative element Cl⁻ established the marine influence on the different dripping waters. Sulphate ion concentration showed a linear relationship with the chloride, indicating its conservative behaviour during percolation processes. Variations in chloride concentrations were related to infiltration paths and type of drip, and also to the annual climate regime. These paths are controlled by the epikarst structure which is shaped by the type and geometrical position of their structural discontinuities (fractures, bedding). Results showed the relationship between Cl⁻ and rainfall events, which allowed better understanding and classification for different drip types

Key words: Karst, dripping water, conservative element, Canelobre cave.

INTRODUCCION

La sensibilidad de los sistemas kársticos a las características climáticas y ambientales exteriores se pone de manifiesto en la concentración en las aguas de goteo de elementos de carácter conservativo, aquellos que mantienen concentraciones constantes en la solución acuosa. En la cueva de Canelobre este papel lo cumple el Cl⁻ cuyo origen está en los aerosoles marinos. Dada la cercanía de la cueva de Canelobre al mar, la relación entre estos aniones es en general alta y viene condicionada por el grado de exposición al aerosol marino que es transportado por el viento hasta la superficie de la roca encajante de la cueva. Una vez depositado, las precipitaciones lo incorporan a las aguas de infiltración que alimentan los goteos de la cavidad. El proceso de transporte hasta las aguas de

goteo depende de la configuración estructural de la roca caja, donde trayectos más cortos o directos darán mayores concentraciones de estos elementos. En este trabajo se estudia la evolución de estos elementos en las aguas de goteo correspondientes a ciclos anuales (2006 y 2007) con un régimen climático muy diferenciado y de las implicaciones que se derivan de su comportamiento para el estudio integral de los sistemas kársticos someros.

MARCO GEOGRAFICO Y CLIMATICO

La Cueva de Canelobre se encuentra situada en el flanco oriental de la Sierra del Cabeçó d'Or aproximadamente a 25 km al N de la ciudad de Alicante. Según la clasificación de Thornthwaite (1948) las características climáticas de la región se consideran de tipo mesotérmico, donde el exceso de

agua suele ser pequeño o nulo. Así, la precipitación media establecida para la zona no suele superar los 400 mm/año (Andreu, 1997). La distribución interanual presenta gran variabilidad temporal, con diferencias de 500 mm entre años secos y húmedos. En cuanto a su distribución intra-anual, el máximo absoluto corresponde habitualmente al mes de noviembre (con valores medios mayores de 55 mm/mes), con la frecuente aparición de otro máximo relativo a finales de la primavera. Por el contrario, las precipitaciones mínimas se producen en el período estival, con un mínimo absoluto en el mes de julio, con valores inferiores a 5 mm/mes.

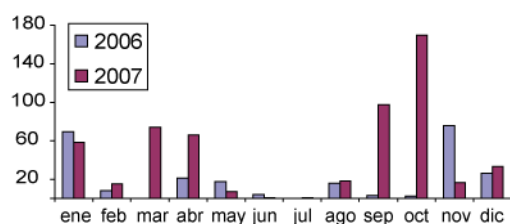


FIGURA 1: Datos de precipitación media mensual durante los años 2006 y 2007.

Los años 2006 y 2007 muestran una distribución de las precipitaciones desigual y representan casos extremos dentro del contexto general descrito más arriba (Fig. 1). En el año 2006 se registraron 242 mm/año que corresponden a un periodo de sequía en el contexto regional, mientras que en 2007 se registraron 557,6 mm/año, mostrando una diferencia con el año anterior de 315,6 mm de precipitación, valor que es incluso mayor que la precipitación total registrada en 2006. En cuanto a las distribuciones intra-anales también hay diferencias notables entre ambos años. Así, durante 2006 las máximas precipitaciones están concentradas en los meses de noviembre y enero que acumulan más del 60% de la lluvia anual, quedando los meses de primavera con el 15% de las precipitaciones de todo el año. En 2007 la distribución de las precipitaciones es más homogénea, con el 25% de las precipitaciones anuales en los meses de primavera y el máximo en los meses de septiembre y octubre, que acumulan el 49% de la lluvia anual.

METODOLOGÍA

Desde 2003 se han analizado aguas de goteo recogidas en diferentes puntos de la cavidad, intensificándose mensualmente a partir de mayo de 2006 para su comparativa con los datos meteorológicos en el exterior y las variaciones microclimáticas en el interior de la cavidad (Cuevas et al. 2007; García-Antón et al. 2010) (Fig. 2). Las determinaciones de los cationes fueron realizadas mediante espectrometría de absorción atómica, mientras los aniones se analizaron por electroforesis capilar iónica en los laboratorios del MNCN-CSIC. Todas las determinaciones utilizadas han mostrado un error analítico en el balance iónico inferior al 5%.

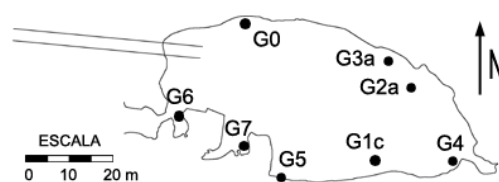


FIGURA 2: Distribución de los goteos estudiados en la planta de la Cueva del Canelobre.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para clasificar los procesos de infiltración se ha efectuado una comparación entre el grado y la variabilidad de la descarga entre varios años (Smart y Friedrich, 1987). En este sentido, la figura 3 caracteriza el tipo infiltración en función de la intensidad de descarga en cada punto de goteo (tasa de goteo máxima) y el coeficiente de variación de esta descarga en un intervalo de tiempo concreto. El coeficiente de variación corresponde con el porcentaje que representa la desviación típica de la descarga en relación a su media aritmética, de modo que los eventos de descarga de gran intensidad y elevado coeficiente de variación se corresponderán con procesos de percolación rápida y flujo vadoso a través de conductos preferenciales. Las descargas de menor intensidad se detectan comúnmente en goteos asociados a reservas de agua procedentes del sistema de microfisuras y poros de la zona vadosa.

El proceso preferencial de infiltración corresponde con goteos asociados a estalactitas de diversa tipología y con tasas generalmente por debajo de 20 ml/min. La mayor parte de los puntos de goteo en la cavidad presentan una intensidad de goteo máxima comprendida entre 0.3 y 13.5 ml/min y con coeficientes de variación inferiores al 90 %.

Los puntos con menos tasa de goteo (G5 y G3a) están relacionados con espeleotemas incipientes tipo “soda straw”. Este tipo de goteos son muy continuos en el tiempo y poco dependientes de las precipitaciones y eventos de infiltración rápida, por lo que presentan un coeficiente de variación inferior al 30%. Los puntos de goteo con mayor tasa de infiltración se sitúan en la zona próxima a la entrada de la cavidad (G0), correspondiéndose con áreas de infiltración directa y de respuesta rápida a los eventos pluviométricos en el exterior (percolación rápida). Tanto en estos goteos como en los de tasas medias o bajas (G1c, G4) presentan una marcada estacionalidad, con coeficiente de variación de la descarga superiores al 90%. Estos puntos de goteo se activan, o incrementan su descarga, en determinadas épocas del año con lluvias continuadas.

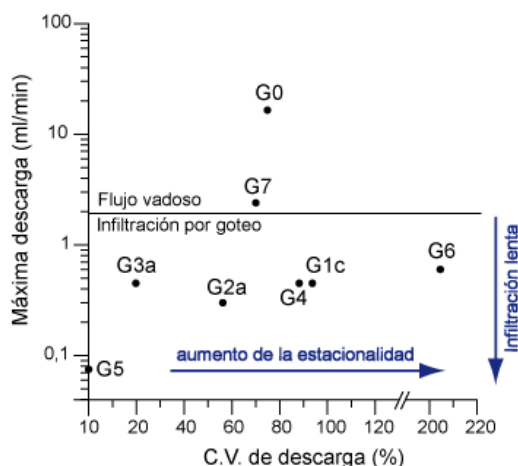


FIGURA 3: Clasificación hidrológica del proceso de infiltración en cada punto de goteo (basado en Smart y Friedrich, 1987).

Para el estudio de los goteos con poca o moderada influencia marina se seleccionó el anión Cl^- como elemento conservativo en este sistema, dado que no es previsible que intervenga en ningún proceso modificador (Fig. 4). El aumento de su concentración en las aguas de infiltración puede estar relacionado con: a) épocas prolongadas de escasez de lluvia, donde las pocas precipitaciones que haya presentan mayor concentración de los componentes del aerosol marino; b) las primeras lluvias intensas después de los periodos de sequía pueden arrastrar el material acumulado (o precipitado) en los conductos de infiltración durante la época seca. Por el contrario, el proceso de dilución se produce cuando el flujo a través de los conductos de infiltración es suficientemente alto para que el aerosol marino forme sólo una pequeña parte de las aguas de infiltración. Por otro lado, en los goteos la concentración del ion sulfato presenta una relación lineal con la del cloruro (Fig. 4), lo que indica su carácter conservativo en el proceso de percolación (no sufre procesos modificadores).

La magnitud de la influencia marina puede ser interpretada como una medida del grado de confinamiento de las aguas de infiltración respecto a las precipitaciones del exterior; así los goteos que presenten mayor influencia estarán relacionados con conductos de infiltración directa, ya sea por las características estructurales de las fracturas que los configuran como por el poco espesor de epikarst sobre el punto de goteo; en los goteos con menor influencia de aerosoles marinos las aguas de infiltración tendrán una trayectoria más larga a través de la red de poros y microfisuras o serán alimentados por reservorios en el epikarst que atenúan las alteraciones geoquímicas que tengan origen en la dinámica atmosférica exterior.

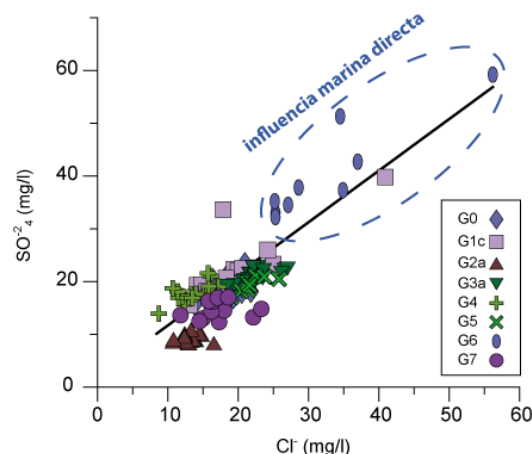


FIGURA 4: Relación aniones Cl^- y SO_4^{2-} de las aguas de infiltración analizadas con el ajuste de la regresión lineal ($R^2=0,7$). Los valores mayores corresponden a las muestras con alta influencia de aerosoles marinos.

El conjunto de goteos con poca o moderada influencia marina está representado en la figura 5, donde se observa una tendencia general en todos los goteos hacia valores menores de Cl^- a lo largo de los ciclos anuales estudiados. Este descenso en la concentración de este ión puede estar relacionada con el contraste hidrológico entre estos dos años, en donde las abundantes precipitaciones de 2007 con respecto al año anterior provocaron que los procesos de dilución de Cl^- fueran de mayor magnitud que los de concentración. En la tendencia general de caída de valores se observan tres niveles diferenciados de variación donde quedan agrupados los goteos. El nivel de valores mayores está formado por los goteos G5 y G3a, que presentan patrones de variación con valores cercanos a lo largo de casi todo el registro muestreado. El nivel intermedio lo forman los goteos G0 y G7 con patrones prácticamente covariantes donde los valores mínimos son cercanos y las mayores diferencias se muestran en los máximos. En estos últimos se observa un comportamiento diferente, así los procesos de concentración en invierno son de mayor magnitud en G7 mientras que en verano lo son los en G0, reflejando así un control estacional en los procesos de concentración de Cl^- de los conductos de infiltración de estos dos goteos. En el nivel de valores menores se encuentran los goteos G2a y G4 con tendencias y rangos de variación similares, pero dispuestos en patrones muy diferentes entre sí, donde G4 muestra periodos de dilución bien marcados en invierno y finales de verano, mientras que G2a presenta alternancias de precipitación y dilución a lo largo de casi todo su registro.

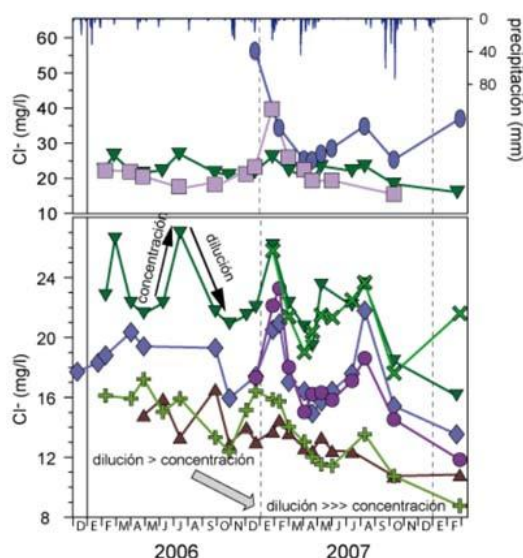


FIGURA 5: Serie temporal a lo largo del periodo diciembre 2005 - febrero 2008 de los goteos con baja influencia de los aerosoles marinos. Leyenda en figura 4.

CONCLUSIONES

Las diferencias climáticas observadas entre los años 2006 y 2007 han tenido su reflejo en la hidroquímica de las aguas de goteo de la cueva del Canelobre. Dentro del contexto de balance hidrológico deficitario de la región de estudio el contraste entre años secos y húmedos se ha traducido en comportamientos geoquímicos característicos en las aguas de infiltración del interior de la cavidad. No obstante el estudio de la concentración del cloruro, como elemento conservativo, en las aguas de goteo nos ha permitido, no solo establecer la magnitud de la influencia marina, sino también valorar el grado de confinamiento de las aguas de infiltración respecto a las precipitaciones del exterior.

La disposición en distintos niveles de variación de elementos conservativos se puede relacionar con el grado de coincidencia de las trayectorias de infiltración, asumiendo que trayectorias próximas compartirán dinámicas similares de carga y descarga de agua que quedarán reflejadas en la concentración del elemento conservativo. Así en los goteos con baja influencia marina (Fig. 5) se observa un ordenamiento en los valores de Cl^- . De este modo, cada pareja de valores descritos (G5-G3a, G0-G7, G2a-G4 y G1a-G1b) corresponde a trayectorias de infiltración con un alto grado de similitud en la geometría de las discontinuidades que las conforman, tomando como caso extremo la pareja G1a-G1b, donde el registro de Cl^- es notablemente parecido. Estas trayectorias están configuradas por la estructura del epikarst en función de la tipología y posición geométrica de sus discontinuidades estructurales (fracturas y estratificación).

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos CGL2008-05929/BTE y CGL2011-25162 del Ministerio de Ciencia e Innovación.

REFERENCIAS

- Andreu, J.M. (1997): *Contribución de la sobreexplotación al conocimiento de los acuíferos kársticos de Crevillente, Cid y Cabeçó d'Or (provincia de Alicante)*. Tesis Doctoral Univ. Alicante, 377 p.
- Cuevas-González, J., Andreu, J.M., Cañaveras, J.C., Hernández-Bravo, J.A., Sánchez-Moral, S. y García del Cura, M.A. (2006): Química de las aguas de goteo en la Cueva de Canelobre (Alicante). *Geogaceta*, 41: 59-62.
- García-Antón, E., Cuevas-González, J., Fernández-Cortés, A., Benavente, D., Sánchez-Moral, S., Andreu, J.M. y Cañaveras, J.C. (2010): Impacto antrópico en la hidrogeoquímica de las aguas de goteo de la Cueva de Canelobre (Alicante). *SEM-Macla* 13: 91-92.
- Smart, P. L. y Friedrich, H., (1987): Water movement and storage in the unsaturated zone of a maturely karstified aquifer, Mendip Hills, England, *Proceedings of the Conference on Environmental Problems in Karst Terrains and Their Solution*, Bowling Green, Kentucky. National Water Well Association, pp. 57-87.
- Thornthwaite, J. (1948): An approach toward a rational classification of climate. *Geologic. Rev.*, 38: 55-94.